МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему *Дослідження та розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури*

Виконав: студент (ка) *II* курсу, групи *8.1764*

Спеціальності *176 Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва освітньої програми)

Р. М. Уолш
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*
Верьовкін Л. .Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, професор, д.т.н.*
Коваленко В. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2025 рік

МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *другий магістерський*
Спеціальність *176 Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Освітня програма *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т. В.
"15" грудня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Уолшу Ричарду Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *Дослідження та розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури*

керівник проєкту (роботи) *Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"27" лютого 2025 року №313-с*

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) *12 грудня 2025 року*

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Потрібна температура встановлюється в діапазоні 40…85°С (з дискретністю 5°С). Джерело живлення перетворює напругу змінного струму 220В в постійну напругу ± 12В, та +5В. Селектор імпульсів формує інтервал, протягом якого імпульси поступають на лічильник імпульсів.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Дослідження автоматизованих пристроїв підтримки заданої температури. Розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури. Техніко-економічне обґрунтування розробки системи підтримки заданої температури. Охорона праці та техногенна безпека*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
. Структурна схема термостабілізатора. Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації заданої температури. Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації заданої температури. Загальна схема блоку керування з блоком живлення. Зміна температури в камері при виході на режим.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*13.10.2025*
II	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*10.11.2025*
III	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*17.11.2025*
IV	*Верьовкін Л.Л., доцент*	*23.11.2025*

7. Дата видачі завдання ___*03 березня 2025 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Аналітичний огляд пристроїв термостабілізації заданої температури*	*14.09.2025*	
2	*Дослідження принципів побудови термостабілізаторів з цифровою індикацією*	*18.09.2025*	
3	*Аналіз принципів функціонування термостабілізаторів*	*13.10.2025*	
4	*Моделювання функціональної схеми пристрою*	*20.10.2025*	
5	*Розрахунок основних параметрів підсилювача напруги*	*27.10.2025*	
6	*Розрахунок основних параметрів селектора імпульсів*	*03.11.2025*	
7	*Побудова силового комутатора навантаження з блоком живлення*	*10.11.2025*	
8	*Техніко-економічне обґрунтування*	*17.11.2025*	
9	*Охорона праці та техногенна безпека*	*23.11.2025*	
10	*Написання пояснювальної записки*	*02.12.2025*	
11	*Оформлення графічного матеріалу*	*08.12.2025*	
12	*Попередній захист дипломної роботи*	*12.12.2025*	
13	*Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи*	*18.12.2025*	

Студент _____ _____*Уолш Р. М.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ _____*Верьовкін Л. .Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л. Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 58 сторінок, 24 рисунка, 13 таблиць, 12 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – автоматизовані пристрої підтримки заданої температури.

Мета роботи – розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури.

Завдання роботи: скласти алгоритм функціонування стабілізатора температури; розробити схему електричну принципову приладу; провести аналіз функціонування розробленого стабілізатора температури.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench, SPlan.

Короткий виклад результатів досліджень – схема електрична принципова у встановленому режимі забезпечує точність підтримки температури 0,5°С с дискретністю індикації 1ºС, що достатньо при проведенні технологічного тренування блоків мікроелектронних пристроїв на виробництві.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Результати роботи можуть бути використані для подальшої модернізації цифрових стабілізаторів температури у тому числі і з застосуванням мікроконтролерів.

ТЕРМОРЕГУЛЯТОР, СЕЛЕКТОР ІМПУЛЬСІВ, ТАКТОВИЙ ГЕНЕРАТОР, ПІДСИЛЮВАЧ НАПРУГИ, ДЕШИФРАТОР, КОМУТАТОР, ЛІЧИЛЬНИК, ІНДИКАТОР

Робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 03 березня по 12 грудня 2025 року.

Зміст

Стор.

Вступ ……. 6
1 Дослідження автоматизованих пристроїв підтримки заданої температури ……... 8
1.1 Класифікація регуляторів температури …….. 8
1.2 Пристрої термостабілізації заданої температури ……... 9
1.3 Методи виміру температури …… 13
1.3.1 Термоперетворювачі опору в електричний сигнал ……. 15
1.4 Принципи побудови термостабілізаторів з цифровою індикацією ….. 17
2 Розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури ……... 21
2.1 Принцип функціонування термостабілізатора ……... 21
2.2 Підсилювач напруги …….. 22
2.3 Перетворювач напруга-частота …… 24
2.4 Селектор імпульсів …… 25
2.5 Лічильник імпульсів …….. 29
2.5.1 Індикація заданої температури ……. 31
2.6 Схема керування …… 33
2.7 Силовий комутатор навантаження з блоком живлення ……. 34
3 Техніко-економічне обґрунтування розробки системи підтримки заданої температури ……... 37
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми підтримки заданої температури …… 37
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми підтримки заданої температури ……... 41
4 Охорона праці та техногенна безпека …… 43
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих

факторів …… 43
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих Факторів ……... 46
4.3 Виробнича санітарія …….. 47
4.4 Електробезпека …….. 49
4.5 Пожежна та техногенна безпека ……... 50
4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення …… 52
Висновки та рекомендації …….. 56
Перелік посилань ……. 57

Вступ

Термостабілізатор являється випробувальним устаткуванням і призначений для відтворення і підтримки заданої температури повітря з високою точністю в корисному об'ємі робочої камери під час проведення перевірки, калібрування і випробувань засобів вимірів для потреб народного господарства і сфер оборони і безпеки.

Пристрої підтримки заданої температури з цифровою індикацією застосовується для підтримки температури в обмеженому об'ємі середовища, з цифровою індикацією температури в цьому об'ємі і можливістю завдання температури шляхом програмування в двійковому коді. При включенні нагрівача індикатор висвічує значення виміряної температури. Для зменшення споживаної потужності в режимі терморегулювання передбачається відключення індикації температури.

Характерна особливість пристроїв підтримки заданої температури - простота рішення схемотехніки і безперервність в роботі. Їх недоліки - невисока точність підтримки заданої температури, необхідність використання додаткового термометра при переналагоджені приладу і контролі його роботи.

Хоча поняття температури інтуїтивно зрозуміле, як стан тепла й холоду, її вимірювання, тобто співставлення з певною одиницею температури й кількісне вираження у вигляді числа, є методологічно складною проблемою.

В електронних термометрах, як датчики температури, застосовуються термоелектричні (термопари), терморезистивні або напівпровідникові датчики.

Термоелектричний перетворювач (термопара) складається з двох різнорідних металевих провідників, спаяних в одній точці. Принцип дії перетворювача заснований на виникненні між з'єднаними металами електрорушійної сили. Діапазон вимірювання, в залежності матеріалу електродів від 0 °С до +2500 °С.

Принцип дії терморезистивного датчика заснований на залежності електричного опору металу від температури. В якості матеріалу датчиків використовуються чисті метали: платина, мідь, нікель. Діапазон вимірювання, в залежності матеріалу від -55 °С до +200 °С.

Принцип дії напівпровідникового датчика заснований на залежності його електричного опору від температури. В якості чутливого елементу використовуються кремній, германій, окиси кобальту, нікелю, міді, марганцю, барію, титану і магнію.

Актуальна розробка термостабілізаторів які відповідають кон'юнктурі ринку, являються конкурентоздатним з аналогічною продукцією даного класу, а по інших характеристиках і перевершують її.

1 Дослідження автоматизованих пристроїв підтримки заданої температури

1.1 Класифікація регуляторів температури

Терморегулятор (англ. heat regulator, heat(ing) controller, temperature regulator, thermostatic control) – прилад для автоматичного підтримання заданого значення температури або її зміни за заданим законом. Терморегулятори можна класифікувати за видами [1]:

Механічний терморегулятор.

До механічних терморегуляторів можна віднести капілярні, принцип дії яких заснований на розширенні рідини в температурному датчику і в капілярної трубці. Рідина тисне на мембрану, встановлену в терморегуляторі, що призводить до розмикання контакту в електричному колі. Капілярні терморегулятори енергонезалежні. Їх використовують у тепло вентиляторах і системах кондиціонування.

Біметалічний терморегулятор.

Іншим прикладом може служити біметалічний терморегулятор, в якому біметалічний диск при досягненні певної температури вигинається і через важіль розмикає контакт електричного кола. Для приведення терморегулятора в початковий стан необхідно натиснути кнопку ручного скидання. Такі терморегулятори використовуються для захисту обладнання від перегріву.

Програмований електронний терморегулятор.

Характеризуються підвищеною точністю регулювання. Програмовані терморегулятори коштують дорожче, але виправдовують свою вартість економією витрат на електроенергію. Принцип їх роботи полягає у підтримці різної температури в певні періоди часу, задані користувачем.

Терморегулятори різняться ще по таким категоріям:

- залежно від конструкції розрізняють: електромеханічні (що використовують принцип роботи біметалічної пластини) та електронні терморегулятори.

- з контролю температури: повітряний, підлоговий, комбінований спосіб контролю;

- за функціональними можливостями: прості, програмовані, двозонні.

- за способом монтажу (встановлення) - накладні і врізні.

1.2 Пристрої термостабілізації заданої температури

Пристрої термостабілізації для технологічного тренування блоків мікроелектронних пристроїв за способом підтримки температури в термостатуємому об'ємі можна підрозділити на дві великі групи - активні і пасивні термостати.

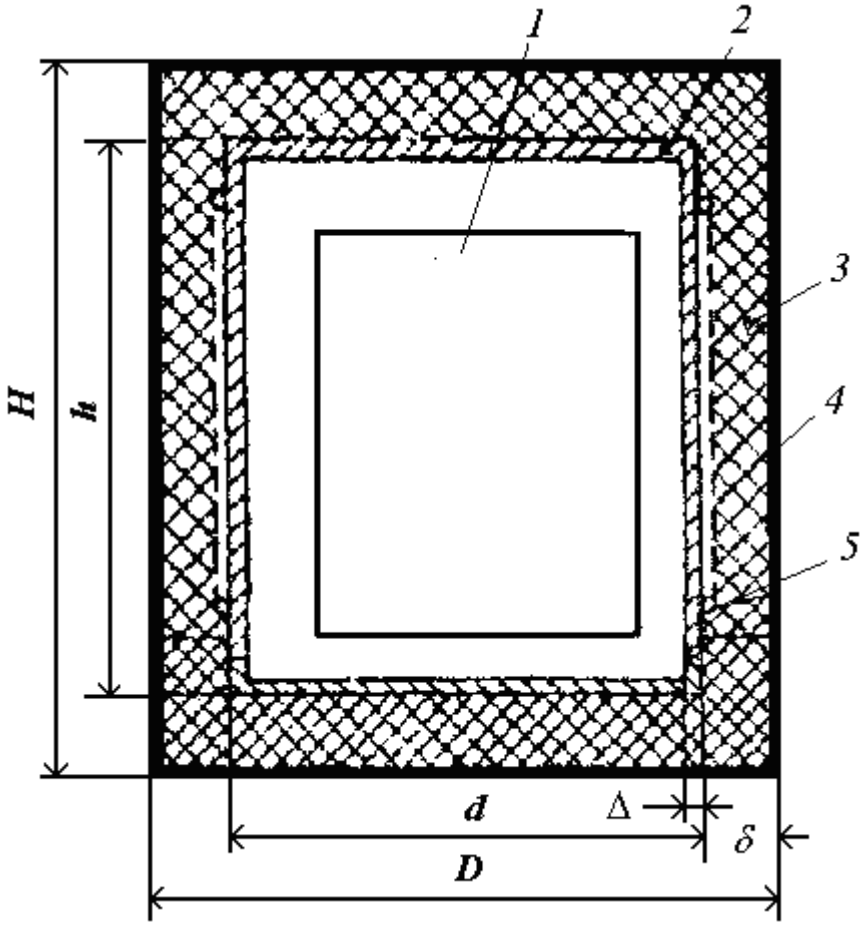
У активних термостатах підтримка температури в заданих межах забезпечуються регулюванням припливу тепла до термостатуємого тіла при відхиленні його температури від заданого значення. У пасивних термостатах підтримка температури термостатируемого тіла протягом заданого проміжку часу досягається вживанням теплоізоляції камери термостата матеріалами з низькою теплопровідністю [2].

Вихідна температура в камері термостата у ряді випадків забезпечується вживанням підігрівних обмоток. Спрощена конструкція пасивного термостата представлена на рисунку 1.1.

Процес охолоджування (нагрівання) камери термостата, при стрибкоподібній зміні температури довкілля, описується диференціальним рівнянням Фур'є

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{1}{C\rho}\left(\lambda_x \frac{d^2 t}{dx^2} + \lambda_y \frac{d^2 t}{dy^2} + \lambda_z \frac{d^2 t}{dz^2}\right) + \frac{W}{C\rho}.$$

де W - питома потужність внутрішніх джерел тепла; $\tilde{N}$, ρ - відповідно повна теплоємність камери з термостатуємим тілом і питома щільність; τ - час.



1 - термостатуєме тіло;

2 - камера термостата;

3 - теплоізоляція;

4 - кожух;

5 - підігрівна обмотка

Рисунок 1.1 - Спрощена конструкція термостату

Камера термостата виготовляється з матеріалу з хорошою теплопровідністю, аби нерівномірність розподілу температури за об'ємом була досить малою; з іншого боку матеріал камери вибирається з максимальною питомою теплоємністю, що забезпечує теплову інерцію термостата. Кожух виконуєть-

ся з матеріалу з малою мірою чорноти (наприклад, полірованого алюмінію), що зменшує променистий теплообмін термостата з довкіллям [3].

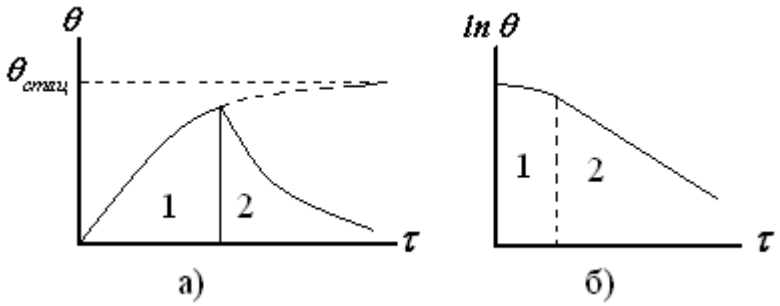
Коли теплопровідність λ не залежить від координат і температури і в камері відсутні внутрішні джерела, рівняння набирає вигляду

$$\frac{\lambda}{C\rho}\nabla^2 t = \frac{dt}{d\tau}, \qquad (1.1)$$

де $\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ - оператор Лапласа.

Вирішення рівняння (1.1) має вигляд суми безкінцевого числа експоненціальних складових.

Практика показує, що процес охолоджування (нагрівання) можна розділити в часі на дві стадії. У початковій стадії швидкість зміни температури в окремих точках різна і в сильній мірі залежить від початкового стану температурного поля, яке в загальному випадку може бути нерівномірним (іррегулярний режим). З часом вплив нерівномірностей згладжується і з деякого моменту часу τ^* (рис. 1.2) відносна швидкість зміни температури в усіх точках стає постійною (регулярний режим).



а) – звичайний масштаб

б) – логарифмічний масштаб

1 - при нагріванні;

2 - при охолоджуванні

Рисунок - 1.2 - Зміна температури в камері термостата

У стадії регулярного режиму зміну температури в усіх точках можна представити однією експонентою

$$\theta = \theta_0 \, e^{-m\tau}, \qquad (1.2)$$

де θ_0 - значення температури у момент настання регулярного режиму.

Показник експоненти m називається темпом охолоджування (нагрівання). На всій стадії регулярного режиму темп охолоджування (нагрівання) залишається незміненим, незалежним від часу і вибору точки усередині термостата.

З вираження (1.2) виходить $\ln \theta = -m\,\tau + \ln \theta_0$, або після обчислення похідної за часом, отримаємо

$$m = -\frac{\partial \ln \theta}{\partial \tau}. \qquad (1.3)$$

Знаючи для точок τ_1 и τ_2 перегріви θ_1 и θ_2, можна обчислити темп охолоджування $m = \frac{\ln \theta - \ln \theta'}{\tau - \tau'}$.

Для монолітного тіла темп охолоджування

$$m = \psi \frac{\alpha S}{C}. \qquad (1.4)$$

Величина $\psi = \theta_s/\theta_v$ - коефіцієнт пропорційності, рівний відношенню середньоповерхневої надлишкової температури тіла до його средньооб'ємної надлишкової температури у стадії регулярного режиму. Цей коефіцієнт називається параметром нерівномірності температурного поля в тілі.

Розрахунок темпу охолоджування по формулі (1.4) представляє визначення трудноші, що пов'язана з визначенням коефіцієнта ψ.

Для термостата темп охолоджування (нагрівання) з достатньою для практики точністю можна розрахувати по формулі

$$m = \frac{S_к}{C\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}\right)},$$

де $S_ê$ - площа зовнішньої поверхні термостата, δ - товщина шару теплоізоляції, α - коефіцієнт тепловіддачі поверхні термостата, λ - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, $C = \sum(C_i \, \rho_i \, v_i)$ - повна теплоємність камери і

термостатуємого тіла, $\tilde{N}_i$, ρ_i, v_i - відповідно питома теплоємність, щільність і об'єм і- го тіла.

При розрахунку нестаціонарних температурних режимів передбачають, що температурне поле тіла або системи тіл входить в стадію регулярного режиму з початку даного процесу. За цієї умови, якщо відомий темп охолоджування, час, протягом якого температура камери зміниться з θ_1 до θ_2, буде дорівнювати

$$\tau_{12} = \frac{1}{m} \ln \frac{\theta_1}{\theta_2} .$$

Якщо термостат розігрівається під впливом джерел енергії потужністю P, то температура в будь-якій точці термостата так само змінюватиметься по експоненті

$$\theta = \theta_0 \, e^{-m\tau} + \theta_{ст} (1 - e^{-m\tau}) ,$$

де θ_0 - початкове значення температури в досліджуваній точці; $\theta_{ñò}$ - стаціонарне значення температури в тій же точці, тобто значення температури при $\tau \to \infty$.

Стаціонарне значення температури камери термостата, для заданої потужності джерела P знаходиться з теплової характеристики $\theta_ê = f(P)$.

1.3 Методи виміру температури

Існують наступні методи виміру температури: об'ємний, манометричний, терморезисторний (метод термоопорів), термоелектричний і пірометричний [3].

Об'ємний метод виміру температури заснований на тепловому розширенні (зміні об'єму) різних тіл. За цим принципом будуються дилатометричні, біметалічні і рідинні термометри.

Манометричний метод виміру температури заснований на тепловій зміні тиску газу (пара) усередині замкнутого об'єму. По цьому методу діють газові і парорідинні термометри.

Терморезисторний метод виміру температури заснований на тепловій зміні електричного опору провіднику або напівпровідників.

Термоелектричний метод виміру температури заснований на виникненні контактного потенціалу між двома різнорідними провідниками (або напівпровідниками), що контактують між собою, при різниці температур вільних і робітника кінців цих провідників.

Оптичний метод виміру температури заснований на залежності енергії, що випромінюється нагрітим тілом, від його темпі тури. Яскравість випромінювання оцінюється візуально за допомогою оптичних пристроїв або перетвориться в електричний сигнал за допомогою фотоелектричних чутливих елементів. Побудовані по цьому методу прилади називають пірометрами вилучення. Розрізняють пірометри повного випромінювання (радіаційні), пірометри часткового випромінювання (яскравість) і пірометри колірні (спектрального співвідношення).

У камерах тепла знайшли переважаюче вживання терморезисторні датчики температури (термоопори) і термоелектричні датчики (термопари) завдяки своїй простоті, стабільності характеристик і можливості перетворення температури безпосередньо в електричну величину.

Терморезистори і термопари використовуються як сприймаючі пристрої систем автоматичного регулювання і управління, так і як датчики електричних дистанційних термометрів.

Практично всі температурні датчики, вживані в сучасному виробництві, використовують принцип перетворення вимірюваної температури в електричні сигнали. Таке перетворення засноване на тому, що електричний сигнал можливо передавати з високою швидкістю на великі відстані, в електричні ж сигнали можуть бути перетворені будь-які фізичні величини. Перетворені в

цифровий код ці сигнали можуть бути передані з високою точністю, а крім того введені для обробки в комп'ютер.

1.3.1 Термоперетворювачі опору в електричний сигнал

Принцип дії терморезисторів заснований на тому, що всі провідники і напівпровідники мають температурний коефіцієнт опору скорочено ТКС.

Всі метали володіють позитивним ТКС. Іншими словами електричний опір провідника збільшується при зростанні температури. Напівпровідники мають негативний ТКС, при збільшенні температури їх опір зменшується.

Матеріал для виготовлення температурних датчиків, повинен володіти досить великим ТКС, а залежність опору від температури має бути досить лінійною в широкому діапазоні температур. Металевий провідник має бути інертний до дії довкілля і забезпечувати хорошу відтворюваність властивостей, що дозволить виробляти заміну датчиків не удаючись до різних тонких налаштувань вимірювального приладу в цілому.

По всіх вказаних властивостях майже ідеально личить платина (якщо не рахувати високої ціни), а також мідь. Такі терморезистори в описах називаються мідні (ТСМ-Cu) і платинові (ТСП-Pt).

Терморезистори ТСП можуть використовуватися в діапазоні температур -260°С…+1100°С. Якщо температура, що вимірюється знаходиться в межах 0°С…+650°С, то датчики ТСП можуть використовуватися як еталонні і зразкові, оскільки нестабільність градуювальної характеристики в цьому діапазоні не перевищує 0,001°С. До недоліків терморезисторів ТСП можна віднести високу вартість і нелінійність функції перетворення в широкому діапазоні температур. Тому точний вимір температур можливий лише у вказаному в технічних даних діапазоні.

Більшого поширення на практиці набули дешевші мідні терморезистори марки ТСМ, залежність опору від температури в яких досить лінійна. Як

недолік мідних резисторів можна рахувати низький питомий опір, і недостатня стійкість до дії високих температур (легке окиснення). Тому мідні терморезистори мають межу виміру не більше +180°С.

Для підключення датчиків типа ТСМ і ТСП використовується двохпровідна лінія, якщо видалення датчика від приладу не перевищує 200м. Якщо це відстань більша, то використовується трьохпровідна лінія зв'язку, в якому третій дріт використовується для компенсації опору дротів, що підводять. Подібні способи підключення детально показані в технічних описах приладів, які комплектуються датчиками ТСМ або ТСП.

До недоліків розглянутих датчиків слід віднести їх низьку швидкодію: теплова інерційність (постійна часу) таких датчиків знаходиться в межах від десятків секунд до декількох хвилин. Виготовляються і мало інерційні терморезистори, постійна часу яких не більш десятих доль секунди, що досягається за рахунок їх малих габаритів. Такі терморезистори виготовляють з литого мікродроту в скляній оболонці. Вони високостабільні, герметизовані, і малоінерційні. Крім того при малих габаритах мають опір до декількох десятків кілоом.

Напівпровідникові терморезистори також часто називають термісторами (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Напівпровідникові терморезистори

В порівнянні з мідними і платиновими вони мають вищу чутливість і негативний ТКС. Це говорить про те, що при збільшенні температури їх опір

зменшується. ТКС термісторів на порядок вище, ніж у їх мідних і платинових побратимів. При вельми малих габаритах опір термісторів може досягати до 1 МОм, що виключає вплив на результат виміру опору сполучних дротів.

Для виміру температури найбільшого поширення набули напівпровідникові терморезистори марки КМТ (на основі оксидів марганцю і кобальту), а також ММТ (оксиди марганцю і міді). Функція перетворення термісторів досить лінійна в діапазоні температур -100°С…+200°С, надійність напівпровідникових терморезисторів дуже висока, характеристики стабільні протягом довгого часу.

Єдиним недоліком є те, що в серійному виробництві не удається з достатньою точністю відтворити необхідні характеристики. Один екземпляр значно відрізняється від іншого, приблизно так само, як транзистори: начебто з однієї упаковки, а коефіцієнт посилення у всіх різний, два однакових з сотні не знайдеш. Такий розкид параметрів наводить до того, що при заміні термістора доводиться заново виробляти регулювання апаратури.

Для живлення термоперетворювачей опору найчастіше використовується мостова схема, в якій урівноваження моста виробляється за допомогою потенціометра. При зміні опору терморезистора від дії температури зрівноважити міст можна лише поворотом потенціометра.

1.4 Принципи побудови термостабілізаторів з цифровою індикацією

При розробці термостабілізаторів вирішується завдання протидії кліматичним і механічним впливаючим чинникам, забезпечення теплового режиму роботи окремих елементів і пристрою в цілому, забезпечення перешкодостійкості і нормального режиму роботи, механічна міцність, надійність і безпека роботи виробу, нормальна робота при експлуатації [4].

Цифровий термостабілізатор забезпечує:

- підтримку температури в обмеженому об'ємі довкілля;

- цифрову індикацію температури, що вимірюється;

- можливість завдання температури.

Режим роботи термостабілізатора дискретний: протягом певного часу відбувається прочитування температури, потім працює нагрівач. При включенні нагрівача індикатор висвічує значення виміряної температури. Для зменшення споживаної потужності в режимі терморегулювання передбачається відключення індикації температури.

Принцип функціонування цифрового стабілізатора температури представлено на рисунку 1.4.

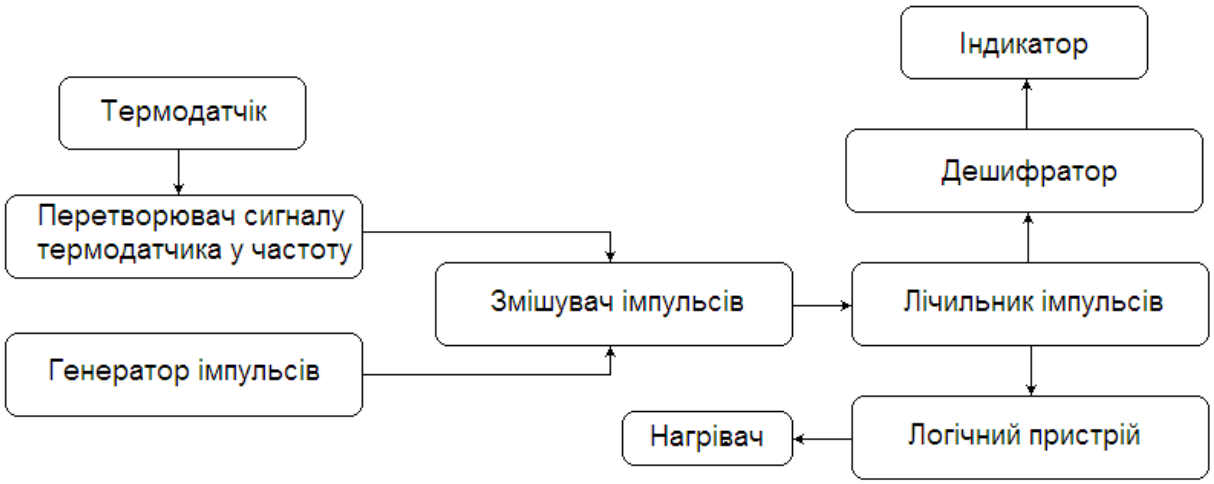


Рисунок 1.4 – Функціональна схема стабілізатора температури

Пряме падіння напруги на термодатчік перетворюється в імпульсну напругу відповідної частоти. Вихідний сигнал заповнюють прямокутні імпульси тактового генератора, з яких лічильник формує двійковий код. Значення виміряної температури в двійковому коді поступає на вхід дешифратора і вхід логічного пристрою. Дешифратор перетворює двійковий код в сигнали управління семисегментними індикаторами, що висвічують чисельне значення температури.

Логічний пристрій порівнює значення виміряної температури, зашифроване в двійковому коді, запрограмованої заздалегідь необхідної температури підтримки. Якщо виміряна температура менше запрограмованої, то ключ включає нагрівальний елемент.

Через деякий час живлення від нагрівача відключається, і йде вимір температури в середовищі. Якщо температура відповідає запрограмованої або перевищує її, то нагрівач буде відключений.

Датчиком температури може бути використаний терморезистор або германієвий діод, падіння напруги на якому використовується для роботи інтегратора. Сильна температурна залежність падіння напруги на p-n-переході діода при фіксованому струмі через нього і слабка нелінійність характеристики температура-частота забезпечують точність терморегулятора [4].

Інтегратор може бути зібраний на операційному підсилювачі із заданою швидкістю наростання виміру температури і точністю.

Вихідна напруга інтегратора через диференціююче коло поступає на струмовий ключ, що формує пакети імпульсів рахунку і індикації, на базі якого складаються сигнали перетворювача і генератора тактових імпульсів.

Генератор забезпечує вихідну напругу прямокутної форми із заданим періодом. Шпаруватість імпульсів регулюють змінним резистором так, щоб відношення тривалості імпульсу до паузи складало 1:3. За час імпульсу в лічильник вводиться інформація про виміряну температуру і відбувається порівняння її із заданим значенням в логічному пристрої.

Після підрахунку числа імпульсів, пропорційного вимірюваній температурі з'являється сигнал потрібного рівня, що дозволяє свічення індикаторів.

Сигнали з інформаційних входів лічильника, що зберігають інформацію про виміряну температуру, дешифратор перетворить в код управління індикаторами висвічують на індикаторі чисельне значення температури.

Мікросхеми логічного пристрою сполучені між собою так, що забезпечують порівняння двох десяткових чисел A і B, зашифрованих в двійковому коді. Число A - це значення виміряної температури, а B - програмована температура підтримки. Якщо A > B, тобто середовище нагрілося, на виході логічного пристрою формується сигнал потрібного рівня. Виконавчий пристрій відключає нагрівач. Якщо, навпаки, A < B, тобто сталося охолоджування, виконавчий пристрій відкривається і включає нагрівач.

Число В програмують перемикачами. Програмування ведуть для кожного розряду десяткового числа, починаючи з входів В1 і закінчуючи входами В4, читаючи код двійкового числа справа наліво.

Метою дипломної роботи являється розробка автоматичного стабілізатора температури. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- скласти алгоритм функціонування стабілізатора температури;
- розробити схему електричну принципову приладу;
- провести аналіз функціонування розробленого стабілізатора температури.

2 Розробка автоматизованої мікроелектронної системи підтримки заданої температури

Для технологічного тренування блоків мікроелектронних пристроїв на виробництві використовується термошафа. Стабілізатор температури виконано у вигляді приставки до термошафи і дозволяє вимірювати і автоматично підтримувати необхідну позитивну температуру з точністю не гірше 0,5°С. Дискретність індикації температури 1°С.

2.1 Принцип функціонування термостабілізатора

Потрібна температура встановлюється в діапазоні 40…85°С (з дискретністю 5°С). Діапазон і дискретність можна змінити. Датчиком температури служить терморезистор, розміщений в термокамері (рис. 2.1). Напруга, що знімається з термодатчика, посилюється підсилювачем напруги і поступає на перетворювач напруга-частота (U→f), зібраний на операційному підсилювачі.

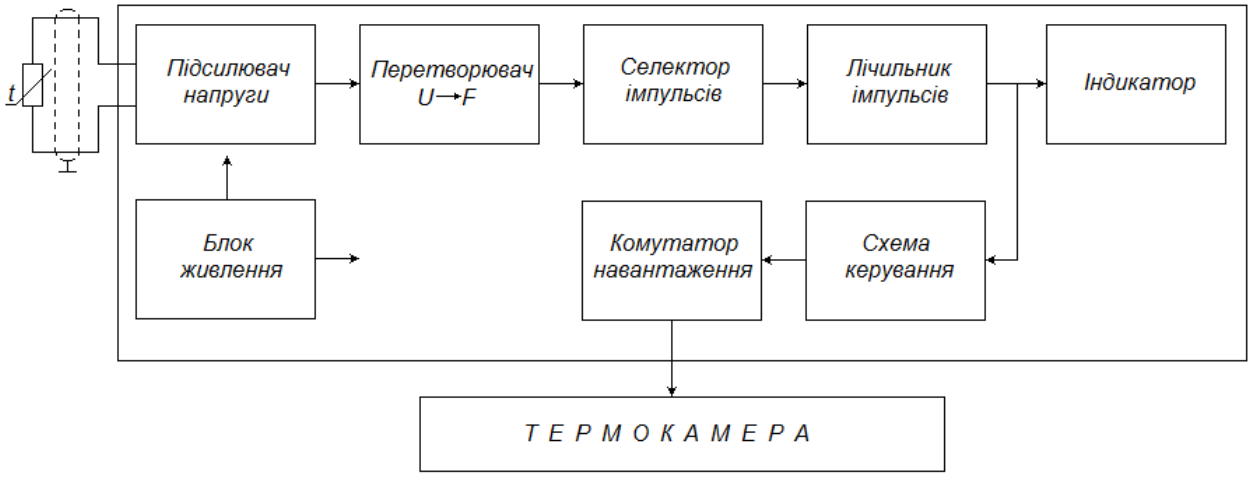


Рисунок 2.1 – Структурна схема термостабілізатора

На виході перетворювача напруга-частота формуються двохполярні імпульси.

Селектор формує інтервал імпульсів, що поступають на лічильник. Лічильник налаштовується так, щоб число імпульсів, що приходять за фіксований інтервал часу, відповідало температурі, що вимірюється і змінювалося пропорційно її зміні [5].

Температура, що вимірюється відображається на індикаторному пристрої.

Режим термостабілізації здійснюється за рахунок роботи схеми керування та силового комутатора.

Джерело живлення перетворює напругу змінного струму 220В в постійну напругу ± 12В, та +5В. У якості силового комутатора використовується оптоелектронний симістор.

2.2 Підсилювач напруги

Датчиком температури служить терморезистор, розташований в термокамері, який підключений у діагональ мостової схеми. Напруга, що знімається з термодатчика, посилюється схемою зібраною на операційному підсилювачі (ОП).

У загальному випадку для роботи операційного підсилювача потрібне двохполярне джерело живлення. Типові значення напруги джерела складають ±6 В; ±12 В; ±15 В (інколи ±18 В). Схема підключення ОП до двохполярного джерела живлення і навантаження представлена на рисунку 2.2 [6].

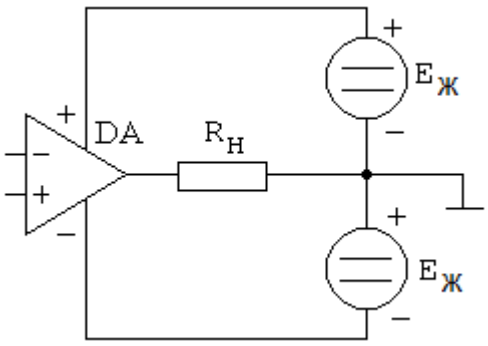
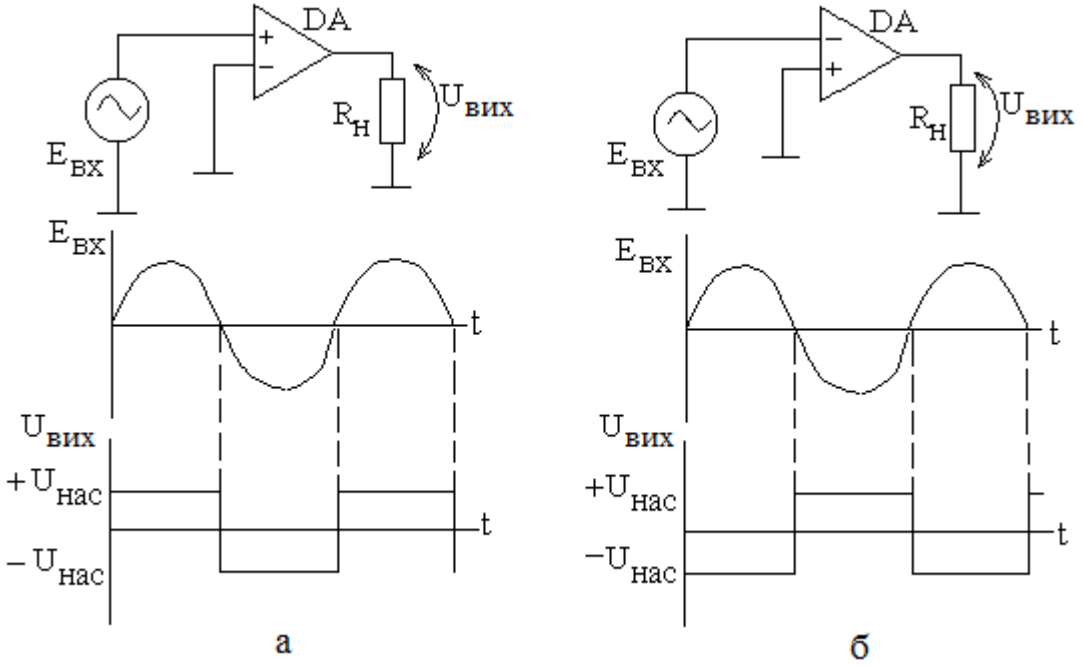


Рисунок 2.1 – Типова схема підключення ОП

Для вимірювальних схем застосовуються схеми компараторів на операційних підсилювачах.

Схеми простих компараторів (пристроїв, що порівнюють два вхідних сигнала) з використанням ОП і часових діаграм, що пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.2.



а – подання опорної напруги на інвертуючий вхід;

б - подання опорної напруги на неінвертуючий вхід;

Рисунок 2.2 – Прості компаратори та діаграми їх роботи

На схемі (рис. 2.1, а) на вхід (–) подана опорна напруга землі (0 В). До входу (+) прикладена напруга, яка порівнюється з опорною. Як випливає з

$$U_{âèõ} = K \cdot E_{ä} \qquad (2.1)$$

вихідна напруга $U_{вих}$ змінює знак при зміні полярності $E_{вх}$ ($E_д = E_{вх} – 0$). При позитивній півхвилі вхідної напруги $U_{вих} = +U_{нас}$, при негативній $U_{вих} = –U_{нас}$. При заземленні (+) входу (рис. 2.2, б) спостерігається протилежна картина ($E_д = 0 – E_{вх}$).

Обидві схеми (рис. 2.2) дозволяють отримати наступну інформацію про вхідний сигнал: полярність $E_{вх}$, момент рівності $E_{вх}$ нулю і напрям зміни $E_{вх}$ при $E_{вх} = 0$. Такі компаратори називають також детекторами нульового рівня.

Датчиком температури служить терморезистор МТТ-4 з опором 10к, який підключений у гілку вимірювального моста R1…R4 (рис. 2.3). Стабіліторон VD1 (КС168А) з напругою стабілізації 5…8В, підключений до діагоналі моста, резистор R1 (820Ом) та конденсатор С1 (220мк ×25В) застосовані з метою підтримки постійних робочих параметрів.

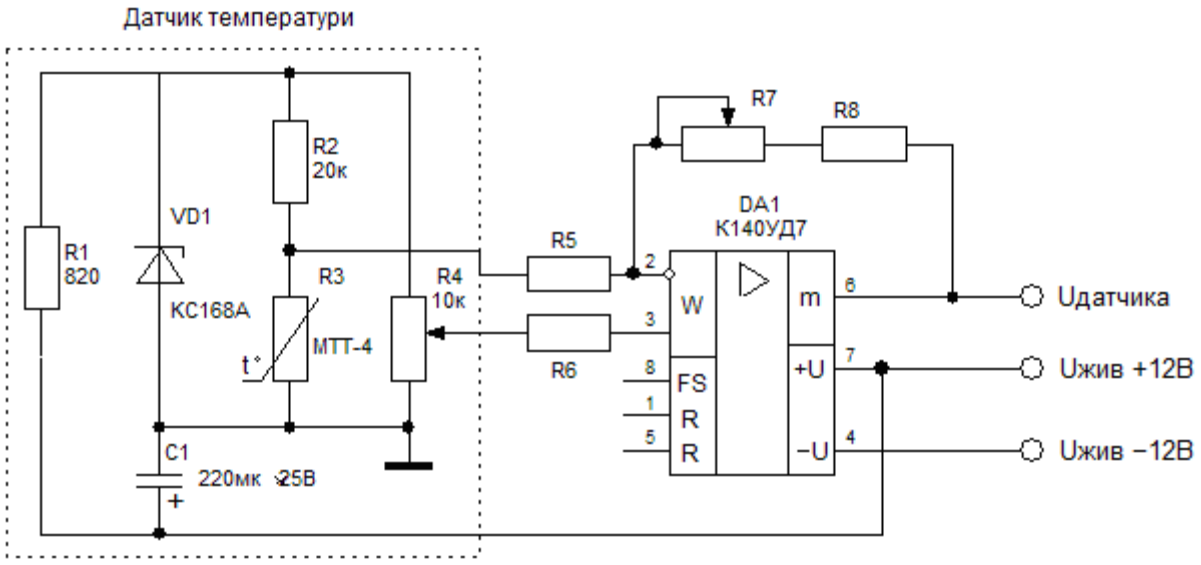


Рисунок 2.3 – Схема виміру температури

Компаратор зібрано на мікросхемі К140УД7, який являє собою операційний підсилювач середньої точності, з внутрішньою частотною корекцією і захистом входу та виходу від короткого замикання.

2.3 Перетворювач напруга-частота

Підсилений сигнал з датчика температури поступає на прецензійний перетворювач напруга-частота (U→f), зібраний на операційному підсилювачі КР140УД20 (рис 2.4).

На виході 10 мікросхеми DA1 формуються двохполярні імпульси (рис. 2.5). Коло з елементів VD6-R5-R6 забезпечує проходження на селектор лише позитивних імпульсів, а також зменшує їх амплітуду до рівня, необхідного логічним мікросхемам.

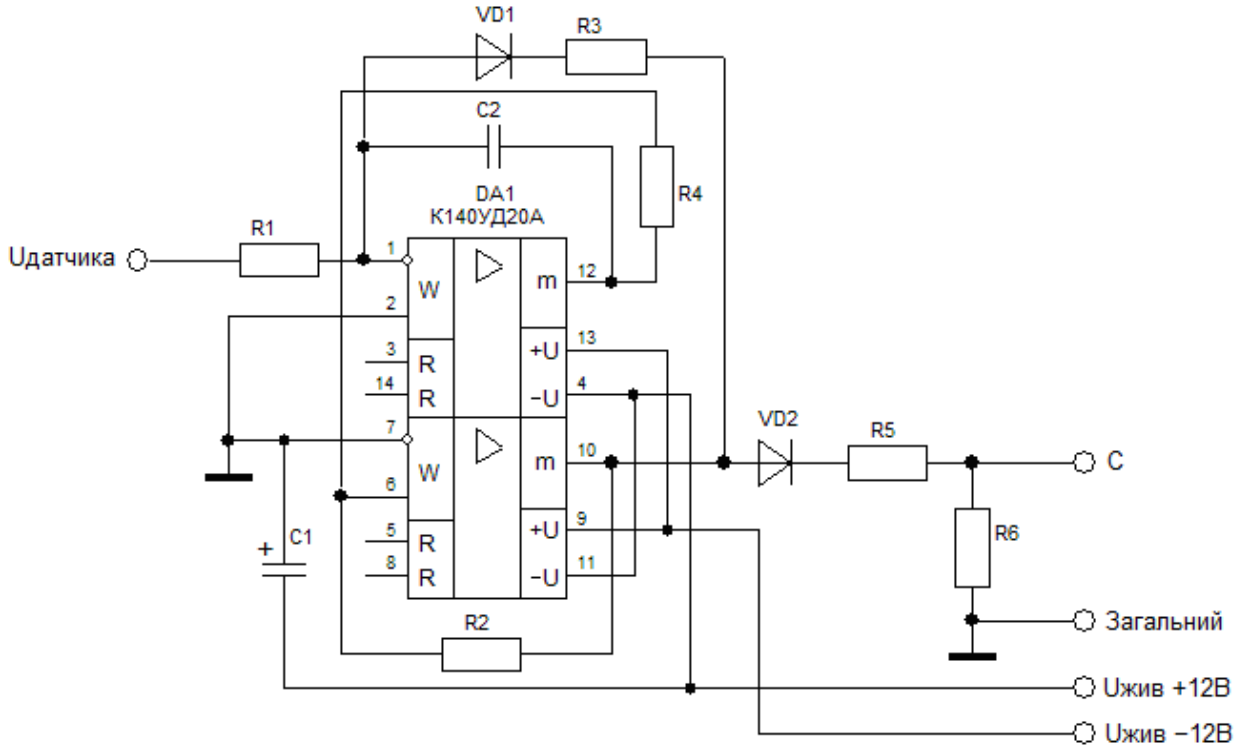


Рисунок 2.4 - Прецензійний перетворювач напруга-частота (U→f)

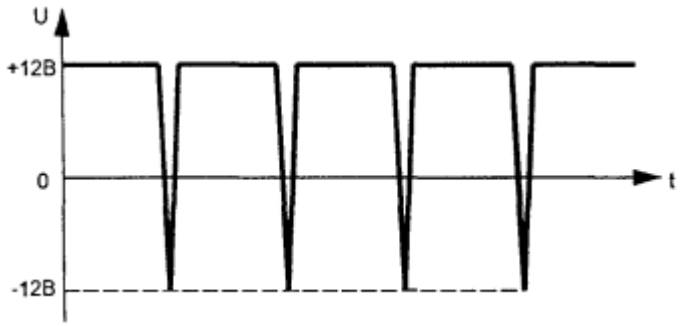


Рисунок 2.5 - Форма імпульсів на виході перетворювач напруга-частота

2.4 Селектор імпульсів

Селектор імпульсів формує інтервал, протягом якого імпульси поступають на лічильник імпульсів [7].

Тривалість інтервалу залежить від частоти автогенератора. Використання мікросхем, які можуть працювати логічними неінвертуючими елементами І, АБО, дозволяє спростити схеми мультивібраторів, що чекають. Мік-

росхеми 561 серії мають на частоті 1МГц динамічну потужність вжитку 20мВт/ле, а їх статична потужність вжитку вимірюється одиницями мікроват, що задовольняє головній вимозі – мінімум споживаної енергії.

Нове сімейство швидкодіючих КМОН-схем відрізняється збільшеними швидкодією і здатністю навантаження. Поліпшення характеристик досягається за рахунок щільнішої топології структури затвора і тоншого шару оксиду в області затвора. Ця технологія забезпечує малу споживану потужність і високу перешкодозахищену і широкий діапазон температур у поєднанні з високою швидкодією і здатністю навантаження.

Схема генератора імпульсів приведена на рисунку 2.6. Робота такого мультивібратора декілька розрізняється для випадків вживання в них мікросхем серії К176 з одним захисним діодом або серії К176 і останніх серій з двома діодами.

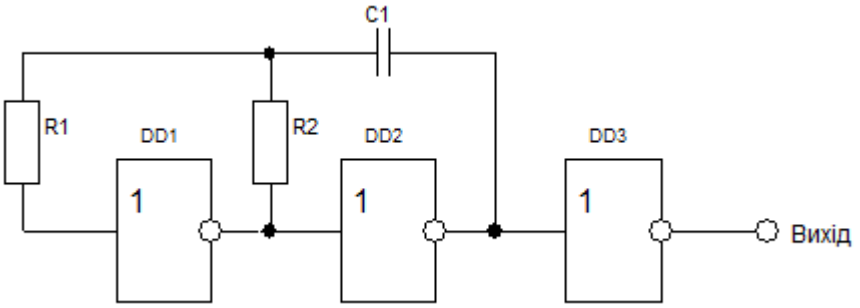


Рисунок 2.6 - Генератор імпульсів на трьох інверторах

Форма коливань в генераторі приведена на рисунку 2.7. Верхня діаграма показує залежність від часу напруги на лівому обкладанні конденсатора, нижня на виході генератора. Спад напруги з виходу елементу DD2, поступаючи на вхід елементу DD1 через конденсатор С1 і резистор R2, обмежується вхідним діодом на рівні, близькому до балка. Про, після чого починається заряд конденсатора через резистор R1, що підвищує напругу на лівому обкладанні конденсатора. Час його заряду до порогової напруги приблизно дорівнює 0.7R1C1. Лавиноподібний процес перемикання елементів приведе до передачі з виходу елементу DD2 на вхід елементу DD1 позитивного перепаду

напруги з амплітудою, рівною напрузі живлення. Перезаряд конденсатора С1 у бік зменшення напруги на лівому обкладанні почнеться від напруги Uжив + Uпор, внаслідок чого на цей процес піде більший час - близько 1,1R1C1. Повний період коливань складе 1.8R1C1, частота - 0,55/R1CI.

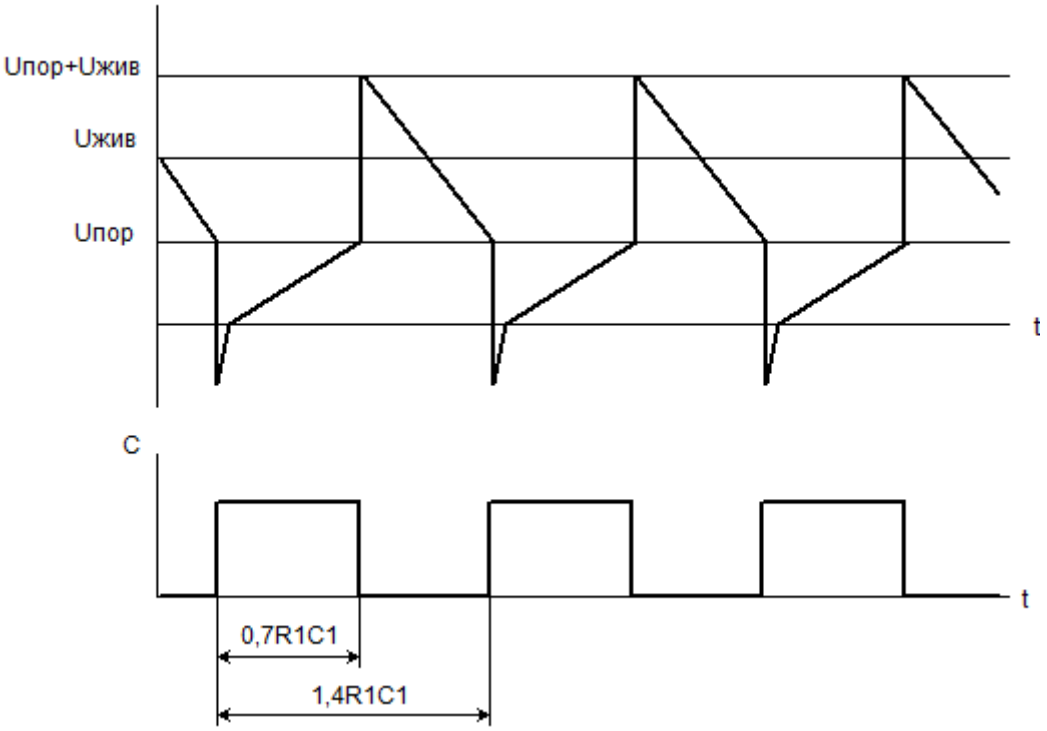


Рисунок 2.7 - Часова діаграма роботи генератора

Якщо в генератор встановлені мікросхеми з двома захисними діодами, тривалість обох процесів перезаряду конденсатора буде однаковий – 0,7R1C1, повний період – 1,4R1C1, частота - 0,7/R1C1.

Резистор R2 потрібний, як і в диференціюючих колах, для обмеження струму через вхідні діоди і зменшення навантаження на елемент DD2. Якщо його величина значно менша, ніж в резистора R 1, він на частоту генерації не впливає. При сумірних величинах R1 і R2 частота генерації декілька знижується. Часто резистор R2 не ставлять або встановлюють послідовно з конденсатором С1 [8].

Селектор імпульсів налагоджується так, щоб число імпульсів, що приходять за фіксований інтервал часу, відповідало температурі, що вимірюється

і мінялося пропорційно її зміні (наприклад, температурі 50°С відповідає 500 імпульсів, тобто одному градусу – 10 імпульсів).

Моделювання селектору імпульсів в програмному забезпеченні Electronics Workbanch показує правильність функціонування відповідно до вимог поставленого завдання.

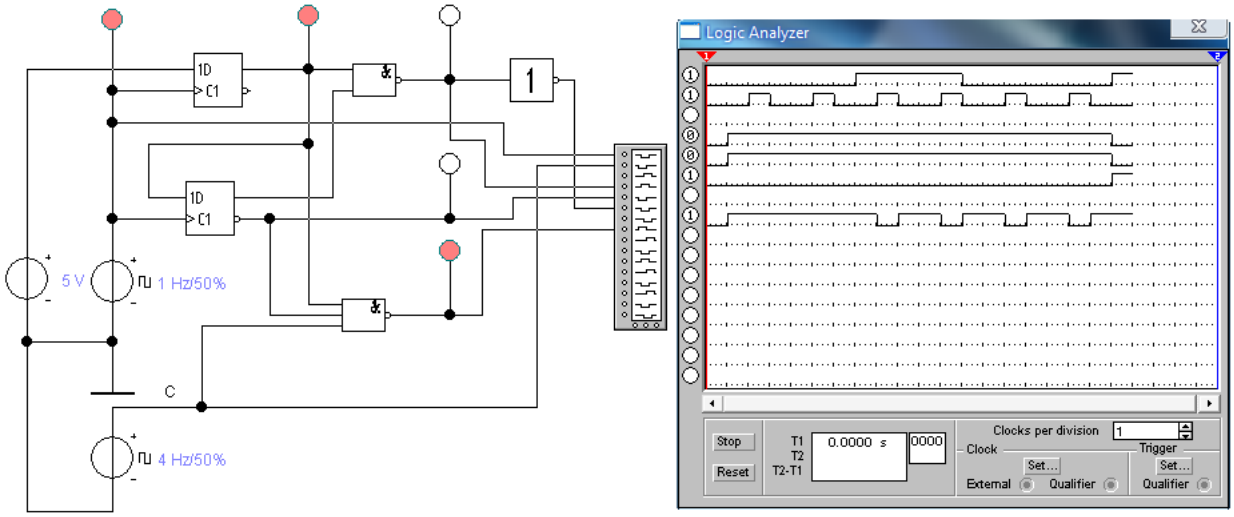


Рисунок 2.8 – Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації заданої температури

Схема селектору імпульсів зібрана на мікросхемах КМОН-логіки та ТТЛШ-логіки (рис. 2.9).

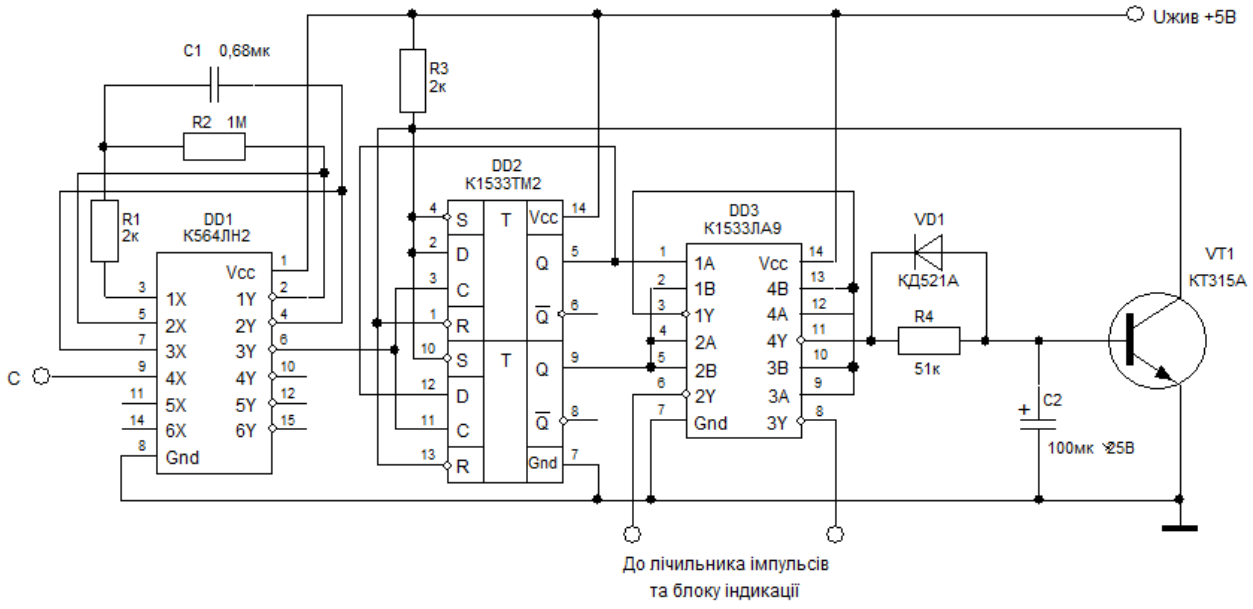


Рисунок 2.9 – Схема селектора імпульсів

Частота вимірів температури залежить від ємності конденсатора С2 і номіналу резистора R4. Як тільки конденсатор С2 зарядиться транзистор VT1 відкривається і обнуляє тригери DD2.1 і DD2.2.

2.5 Лічильник імпульсів

Лічильник призначений для підрахування числа імпульсів, які приходять за фіксований інтервал часу. Число імпульсів відповідає температурі, що вимірюється і змінюється пропорційно її зміні [4]. Використаємо мікросхеми К1533ИЕ2 (рис. 2.10).

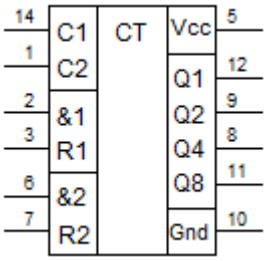


Рисунок 2.10 - Мікросхема К1533ИЕ2 (7490)

Мікросхема являє собою двійково-десятковий лічильник, що складається з чотирьох D –тригерів, внутрішньо з’єднаних для виконання операції ділення на два і п’ять. Входи установки нуля забезпечують заборону лічення по входам С1 і С2 та повернення усіх виходів у стан низького рівня або відлік двійково-десяткового числа у дев’ять. Вихід Q1 не з’єднаний з наступними тригерами, тому можна здійснити три незалежних режиму роботи лічильника: при зовнішньому з’єднанні входу С2 з виходом Q1 здійснюється операція двійково-десяткового рахування; при зовнішньому з’єднанні входу С1 з виходом Q8 здійснюється операція ділення на десять вихідного імпульсу з скважністю 2, сигнал знімається з виходу Q1; без зовнішніх з’єднань тригер з виходом Q1 здійснює операцію ділення на два (вхід С2 використовується для виконання операції ділення на п’ять). Обидва лічильника працюють незалеж-

но один від одного. Таблиця 2.1 показує, який стан повинен бути на входах установки &, R, щоб на виходах лічильника здійснювалась операція підрахунку імпульсів.

Результат моделювання відповідає завданню, лічильник підраховує кількість імпульсів і відображає інформацію на індикаторах (рис. 2.11).

Таблиця 2.1 – Таблиця функціонування мікросхеми К1533ИЕ2 (7490)

Входи установки				Виходи			
&1	R1	&2	R2	Q1	Q2	Q4	Q8
1	1	0	×	0	0	0	0
1	1	×	0	0	0	0	0
×	×	1	1	1	0	0	1
×	0	×	0	Лічення			
0	×	0	×	Лічення			
0	×	×	0	Лічення			
×	0	0	×	Лічення			

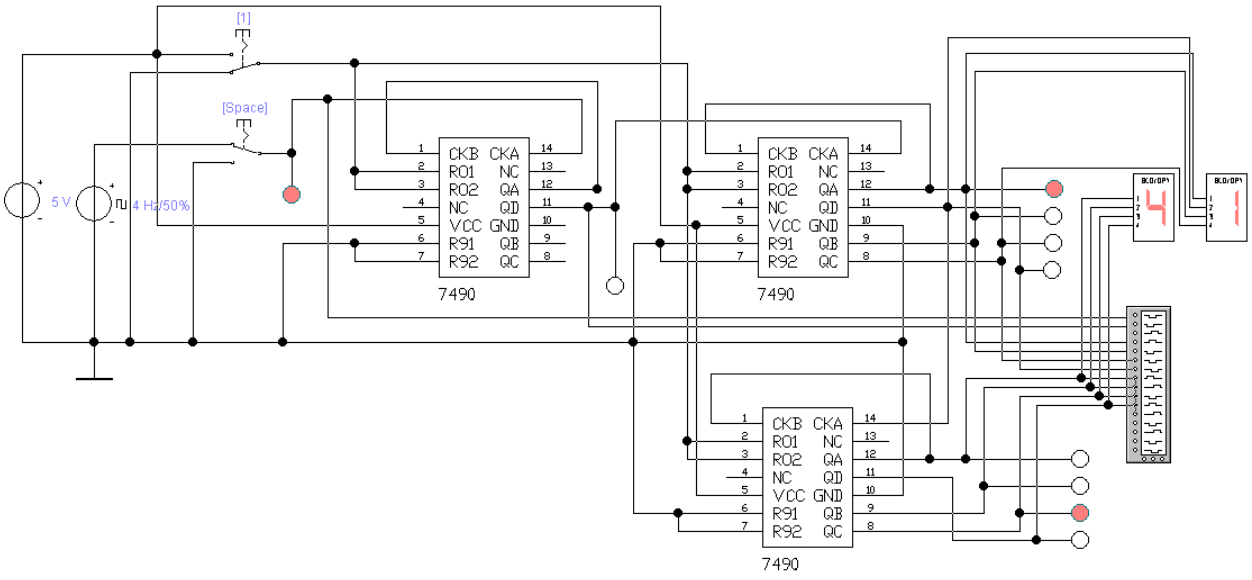


Рисунок 2.11 – Аналіз функціонування лічильника імпульсів

Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації зібрана на мікросхемах К1533ИЕ2 та дешифраторах перетворення двійкового коду чисел у код семисегментних індикаторів 514ИД2 (рис. 2.12). Результати підрахунку числа імпульсів за фіксований інтервал часу формуються у два чоти-

рьохрозрядних кода (код індикації одиниць і код індикації десятків). Лічильники ведуть підрахунок імпульсів по згідно з сигналом установки. На вхід С1 лічильника DD1поступають імпульси з виходу селектора – трьохвходового елементу I-HI (рис. 2.8).

На час виміру температури індикатори HG1…HG2 гасяться подачею рівня логічного нуля на входи 4 дешифраторів 514ИД2.

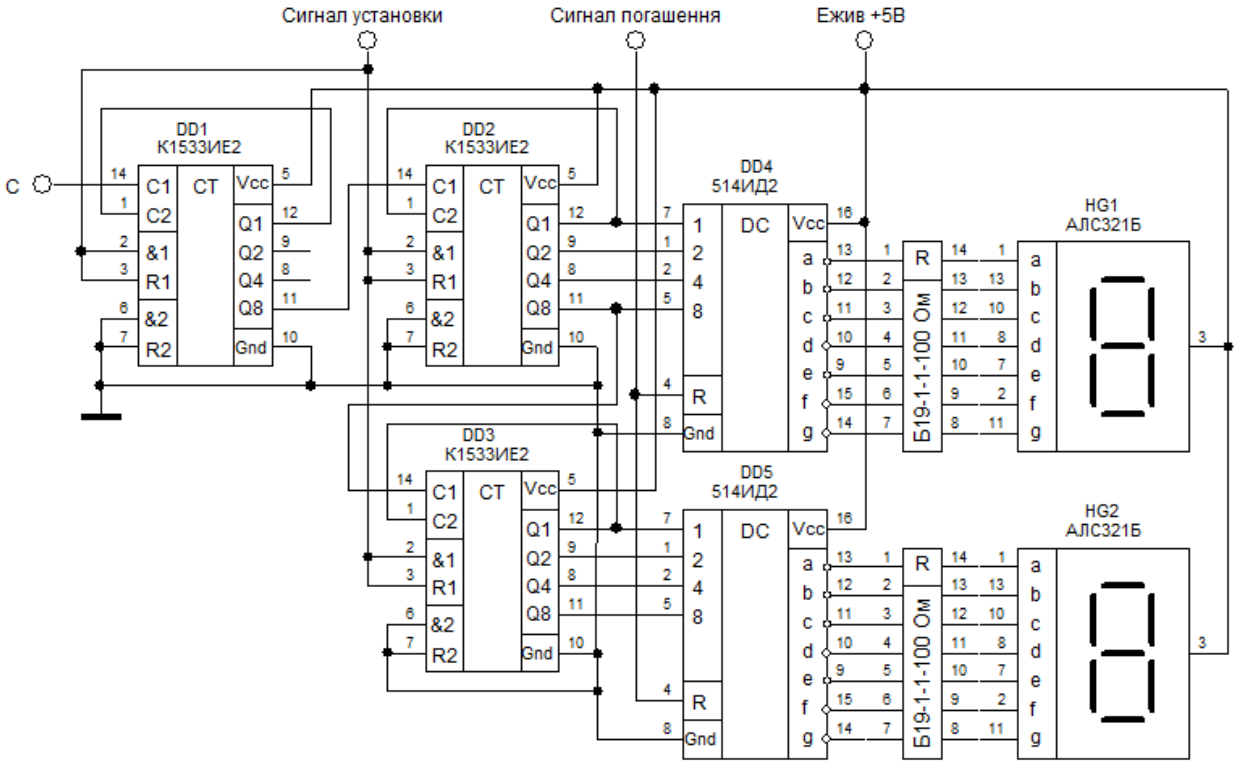


Рисунок 2.12 - Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації заданої температури

2.5.1 Індикація заданої температури

Напівпровідникові знакосинтезуючі індикатори – це низьковольтні прилади, зручно поєднувані з джерелами живлення і рівнями струмів мікросхем. Вони мініатюрні і дозволяють конструювати пристрої, призначені для відображення інформації різної складності, - від точки, що світиться, до текс-

тів і графіків. Індикатори володіють малим часом перемикання - менше 50 нс. Прилади характеризуються відносно високими рівнями робочих струмів і помірними рівнями яскравості [4].

Багатоелементні напівпровідникові знакосинтезуючі індикатори призначені для представлення інформації у вигляді знаків і організованих в один або декілька розрядів. В даний час випускається декілька сотень типів багатоелементних напівпровідникових індикаторів, у тому числі знакові, модулі шкали, модулі екрану. Вони розрізняються числом, розмірами і конфігурацією світловилучаючіх елементів, кольором свічення, конструктивними рішеннями.

Семисегментні світлодіодні індикатори призначені для відображення інформації у вигляді цифр і включають в свій склад вісім світлодіодів, сім з яких мають форму сегментів, а один, восьмий – крапка.

Семисегментні індикатори випускаються двох видів – з об'єднаним анодом або з об'єднаним катодом, для зменшення числа контактних виводів індикатора (рис. 2.13). Для структури із загальним катодом на об'єднаний катод подається потенціал землі. На аноди потрібних діодів подається позитивна напруга.

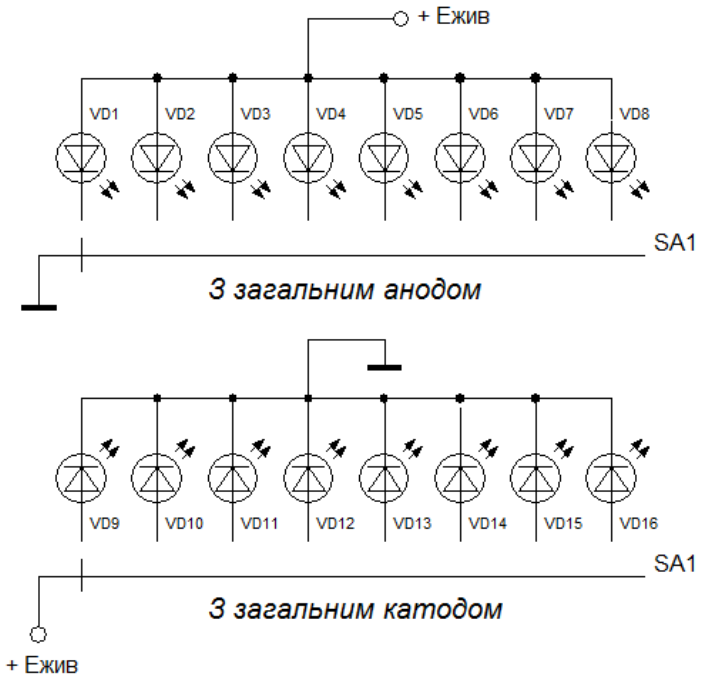


Рисунок 2.13 – Семисегментний світлодіодний індикатор

Температура, яка вимірюється показується двома світлодіодними семисегментними індикаторами з загальним анодом.

2.6 Схема керування

У схемі керування використаємо елементи 4-2-І-АБО (рис. 2.14).

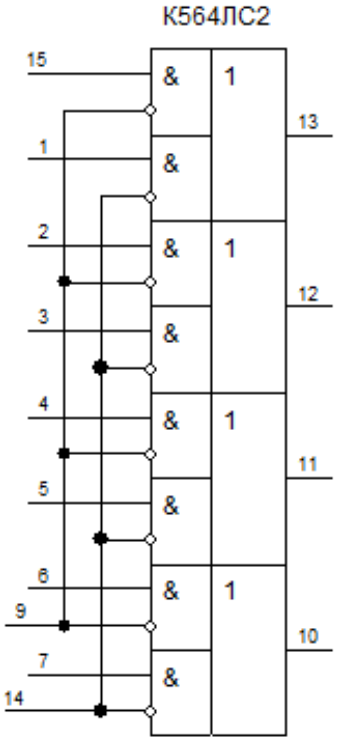


Рисунок 2.14 – Функціональна схема елементів 4-2-І-АБО

Режим термостабілізації здійснюється за рахунок роботи схеми порівняння зібраної на мікросхемах К564ЛС2 (DD3…DD4) (рис. 2.15).
Сигнали з виходів лічильників імпульсів (рис 2.12) поступають на дешифратори DD1…DD2, що перетворюють двійковий код у десятковий.

Необхідна температура задається за допомогою перемикачів SA1 і SA2. Схема порівняння на елементах DD3…DD4 забезпечує відключення нагрівачів, як тільки код з виходів дешифраторів досягне або перевищить значення, які встановлені на перемикачах.

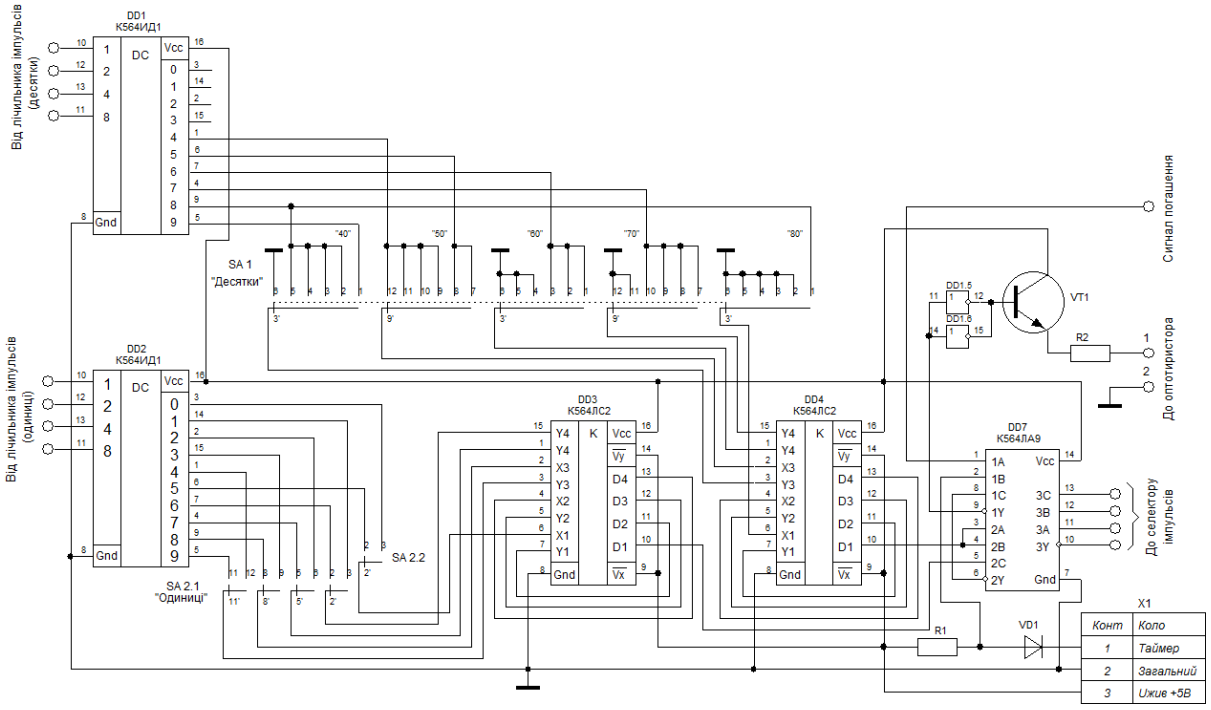


Рисунок 2.15 – Схема керування

2.7 Силовий комутатор навантаження з блоком живлення

Використання у якості силового комутатора оптоелектронного симістора [8] дозволяє забезпечити гарну розв’язку схеми керування від мережі живлення (рис. 2.16).

У процесі виходу термокамери на заданий режим із-за інерційності системи температура у камері може змінюватися (рис. 2.17).

У встановленому режимі схема забезпечує точність підтримки температури 0,5°С.

Схема передбачає дистанційне керування відключення нагрівача (рівнем логічного «0») від зовнішнього часозадаючого таймеру, через роз’єм X1 (від нього таймер може живитися).

Загальна схема блоку керування з блоком живлення представлена на рисунку 2.18.

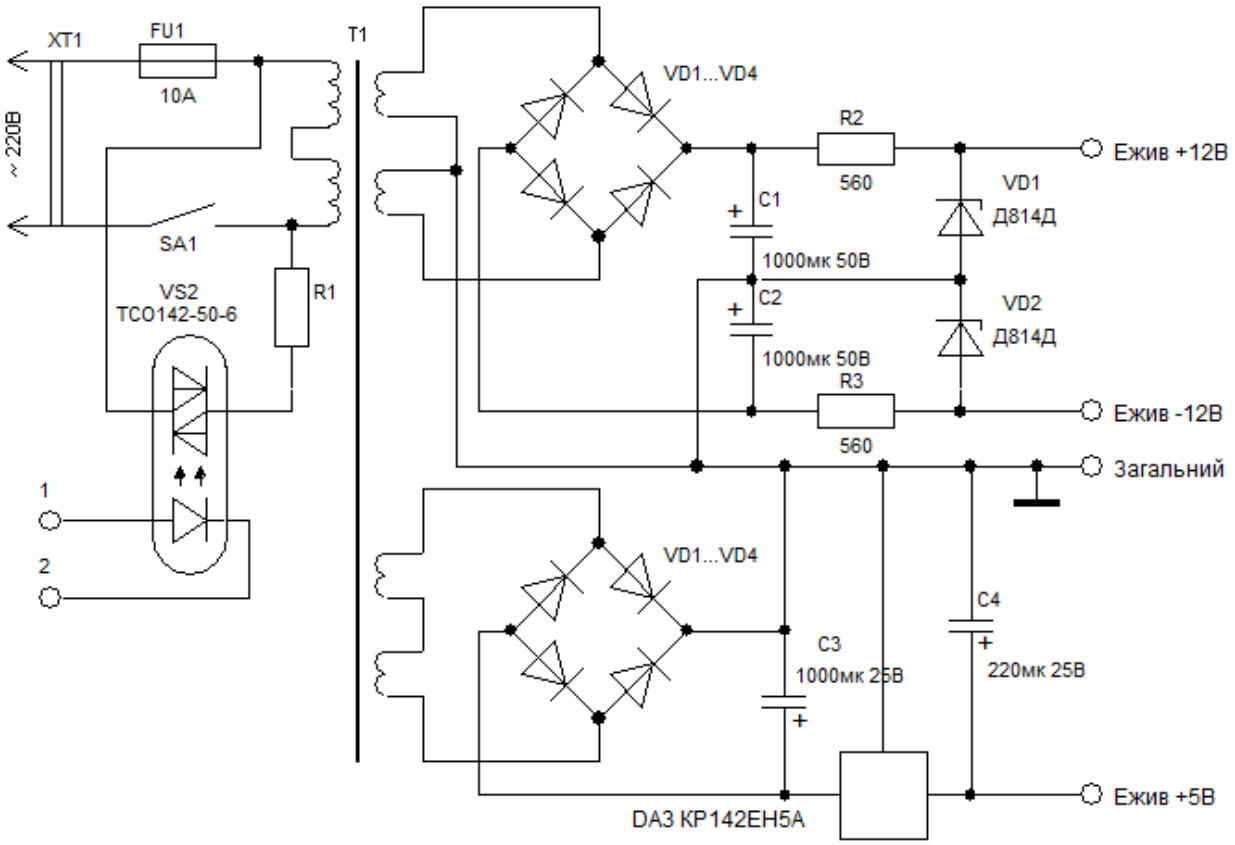


Рисунок 2.16 – Схема силового комутатору та блоку живлення

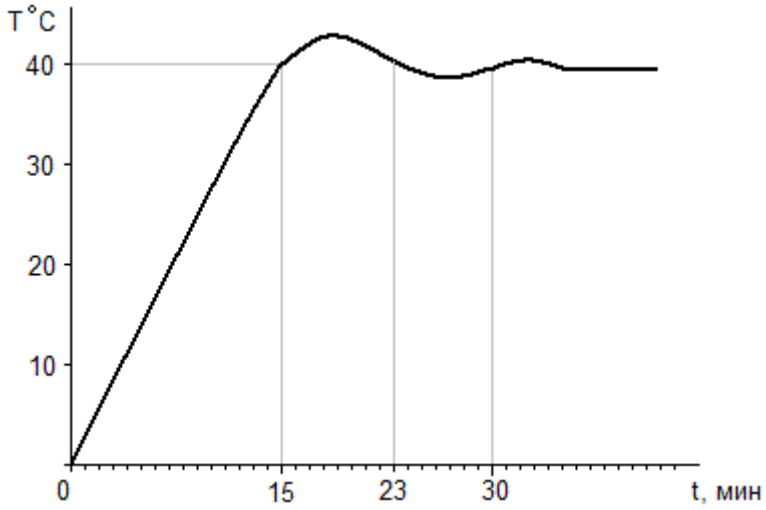


Рисунок 2.17 – Зміна температури в камері при виході на режим

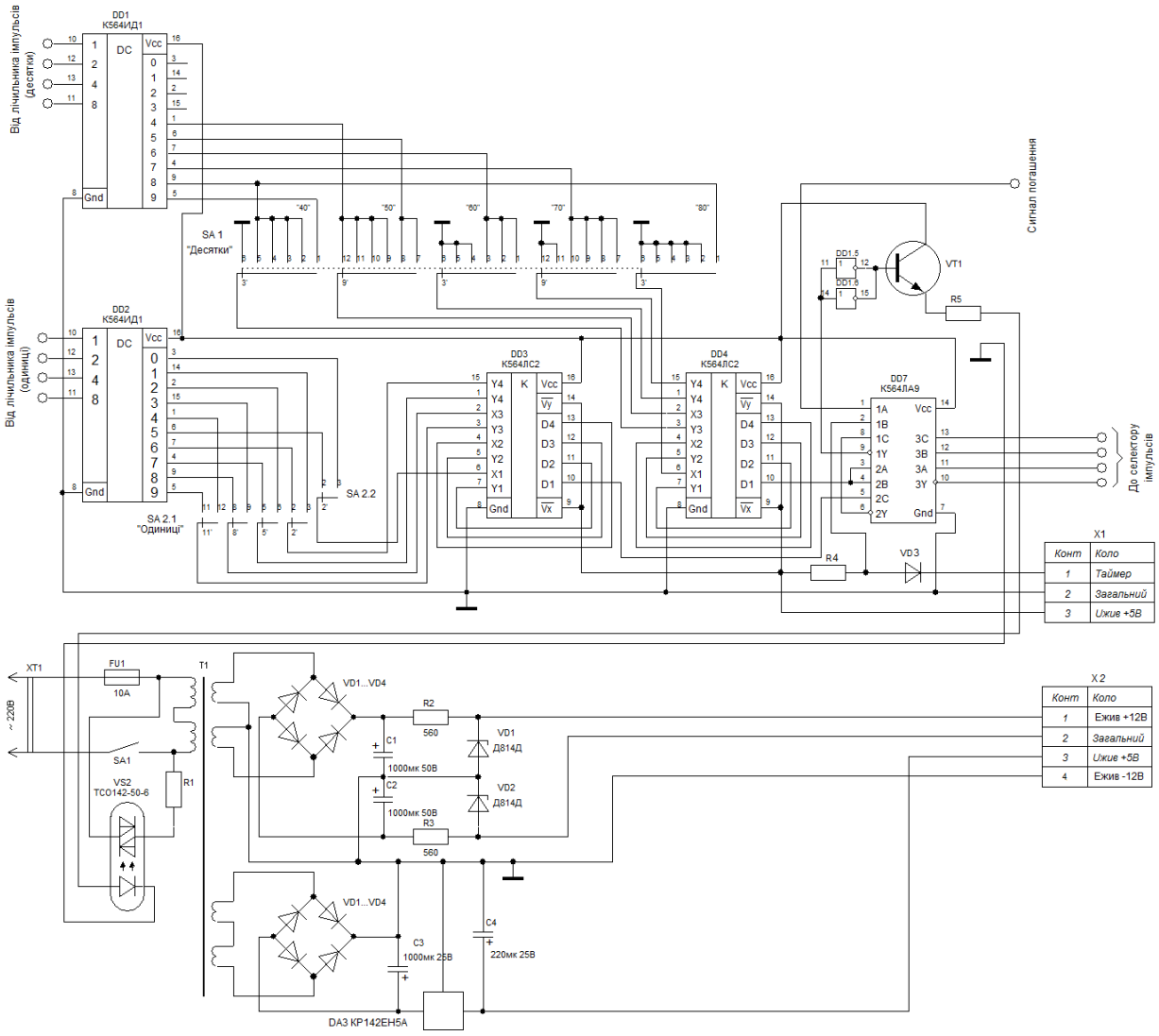


Рисунок 2.18 - Загальна схема блоку керування з блоком живлення

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки системи підтримки заданої температури

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схеми підтримки заданої температури

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схеми підтримки заданої температури проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [9].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді товстих композітних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді тонкіх плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [9].

У матриці прийняті наступні позначення: *i* – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) *i* = 1, 2, 3, 4, 5, 6; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага і-го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
$\sum$							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}}{\sum_{i=1}^{4}\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}},$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
$\sum$					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\sum$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\sum$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
∑					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
∑					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
∑					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл.. 3.10) [9].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схеми підтримки заданої температури з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації схеми підтримки заданої температури за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схеми підтримки заданої температури.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схеми підтримки заданої температури

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблиці 3.11. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 88,27 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво схеми підтримки заданої температури

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість од.	Ціна за од., грн.	Всього витрат, грн.
AT90S8535	шт.	1	18,11	18,11
LM7805	шт.	3	4,77	14,31
AAT3129	шт.	1	7,23	7,23
AAF5060PBESEEVG	шт.	1	14,04	14,04
74HC173	шт.	2	2,40	4,80
74HC4051	шт.	2	1,20	2,40
Резистор пост.	шт.	45	0,01	0,45
Конденсатор пост.	шт.	20	0,10	2,00
Конденсатор електр.	шт.	2	0,60	1,20
Діоди	шт.	6	0,51	3,06
Трансформатор	шт.	1	12,00	12,00
Запобіжник	шт.	1	0,01	0,01
Роз'єми	шт.	3	1,00	3,00
Дріт	м	3	0,90	2,70
ПОС-61	кг	0,01	7,20	0,07
ФЛЮС	кг	0,01	3,40	0,03
Спирт	л.	0,1	12,00	1,20
Марля	$м^2$	1	0,75	0,75
Пластик	$м^2$	0,1	5,00	0,50
Всього				88,27

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, має такі характеристики: довжина приміщення 6,5 м; ширина приміщення 3,7 м; висота приміщення 3,5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне. Загальна площа дорівнює 24,1 кв. м. Тобто на кожне робоче місце припадає по 8 кв.м., що відповідає нормам (не менше 6 кв. м.).

На рисунку 4.1 наведено план розташування робочих місць інженерів електронщиків. На робочому місці інженер електронщик піддається впливу наступних несприятливих факторів [10]:

- недостатнє освітлення;

- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;

- електромагнітне випромінювання. На робочому місці допустимі рівні електромагнітних випромінювань за електричної та магнітної складових в діапазоні 5-2000 Гц;

- виділення надлишків теплоти. Тепловий поріг починається з J = 10 мВт/см^2;

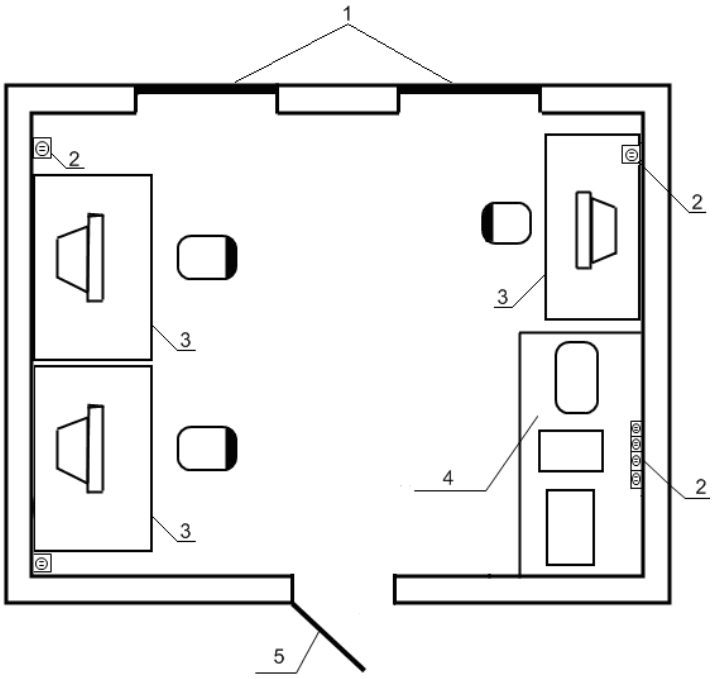
- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [11]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення, тому велике значен-

ня надається характеристикам робочого крісла. Велике значення також надається правильній робочій позі користувача. Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50-60 см від очей.

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що інженер електронщик змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька. Тому дотримання правильного режиму праці і відпочинку при роботі грає дуже важливу роль.



1 – вікна;

2 – розетка;

3 – робоче місце;

4 – місце для стендів;

5 – двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць інженерів-електронщиків

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на інженера електронщика [10]

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний (табл. 4.1). При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників ¾ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину ¾ 81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Основними джерелами шуму є: комп’ютери, робочі стенди. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками Intel Pentium і моніторами SVGA Samsung, SyncMaster 450b.

Таблиця 4.1 Оцінка чинників виробничого і трудового процесу робочого місця інженера електронщика

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м^3	4	3.9				50
2	Шум, дБА	70	83		13		75
3	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря С°	22-24	18-24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,15-0,2				100
	- відносна вологість повітря %	40-60	45-60				100

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою. З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [12].

1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2) нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ;

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3) захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

4) захисту від ураження електричним струмом (різні види огородження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).

5) забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмопровідних кабелів і проводів;

6) захисту від дії механічних факторів (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);

7) захисту від хімічних факторів (огородження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);

8) захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

4.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп’ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м³, а в даному приміщенні вона складає 3,9 мг/м³.

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрій і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким, без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [12].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає з зовні необхідно:
послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);

- застосовувати раціональне розташування обладнання;

- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [11].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22-24ºС (в холодний період 21-23ºС), відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура в теплий період – 18-24 ºС, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря 0,15-0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводиться щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аеро-іонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [12].

4.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТБ і ПТБ споживачів) і "Правила використання електроустановок" (ПВЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [11]. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПВЕ. Захисне заземлення. Занулення ». Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення.

В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізольованою нейтраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

4.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна особливість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалю-

вання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектри-

чні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

З приміщень, на випадок пожежі, має бути передбачена й забезпечена евакуація людей через так звані евакуаційні виходи [10] важливішою вимогою успішної евакуації людей і цінностей є улаштування внутрішніх переходів, пожежних сходів і аварійного освітлення. Виходи вважають евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

1) першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

2) будь-якого поверху, крім першого, в коридор, що веде на сходову клітку, в тому числі через хол. При цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

3) у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними в пунктах 1 і 2.

Фактично, лабораторне приміщення має необхідні умови для евакуації людей і цінностей. В будівлі передбачені й забезпечені евакуаційні виходи з приміщення. Коридор веде на сходову клітку, яка має вихід безпосередньо назовні.

4.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення

Для освітленості приміщення з розмірами А = 6,5 м, В = 3,7 м та висотою Н = 3,5 м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{стелі}$ = 70%, $P_{стін}$ = 50%, $P_{підлоги}$ = 10%.

Затінювання робочих місць немає. Висота підвісу світильника $h_з = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_р = 0.8$ м.

Нормативна величина освітленості для відео-терміналів складає $E_н = 400$ лк [10].

При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність. фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$Е_ф = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_{зап}}, \text{ (лк)} \qquad (4.1)$$

де $N = 2$ – число світильників, шт.;

$F = 3120$ лм – світловий потік лампи;

$n = 2$ – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

$z = 1{,}1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення $E_{сер} / E_{мін}$);

$k_{зап} = 1{,}5$ – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи ;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги [12]. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження η необхідно визначити значення індексу приміщення i.

$$i = \frac{A \cdot B}{h_п \cdot (A + B)} \qquad (4.2)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

$\eta_п$ - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H, м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_р = 0.8$ м) по формулі:

$$h_{ï} = H - h_{ç} - h_{p} = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \qquad (4.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (3.2) і знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (65 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (3.1):

$$Å_{ô} = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9, \text{ (лк)}$$

Оскільки отримана величина $E_ф < E_н$ для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Порахуємо міру збільшення W:

$$W = \frac{E_í}{Å_{ô}} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$Å_{ô} = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7, \text{ (лк)}$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фактична освітленість $E_{ô}$ практично відповідає нормативному значенню освітленості $E_{í} = 400$ лк [12].

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

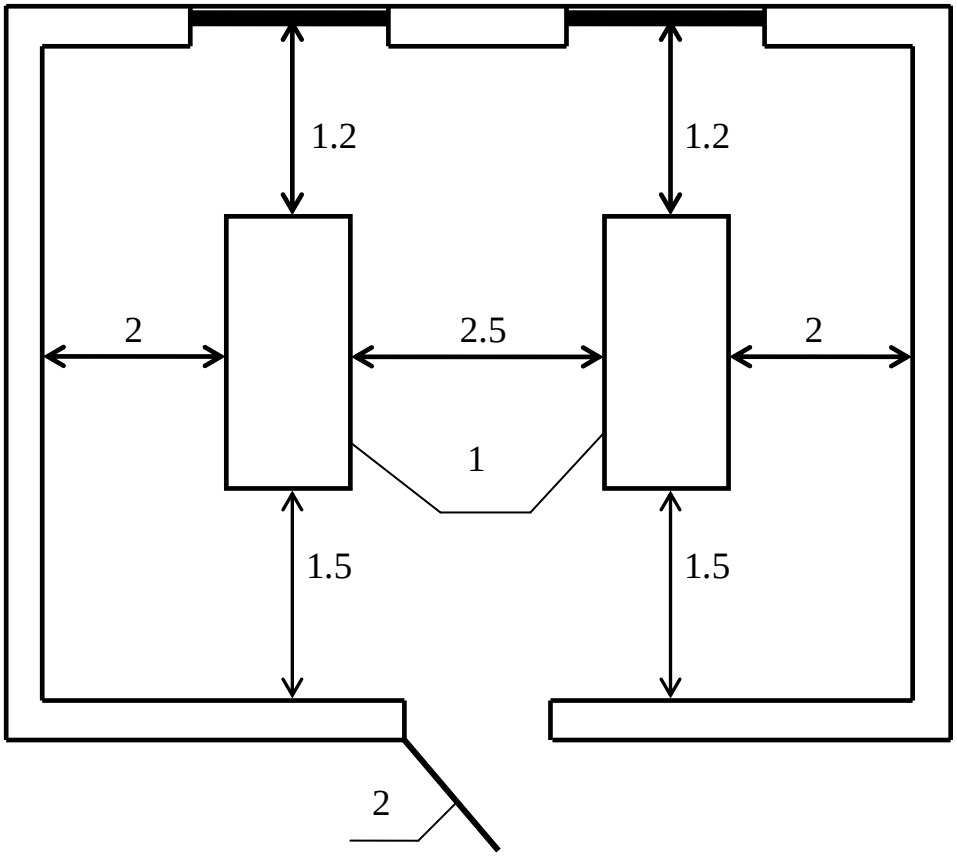
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4, \text{ (лм)}$$

Так, якщо всі лампи типа ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типа ЛТБ-65 з F=3980 лм $E_ф$ буде рівне:

$$Å_{ô} = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357, \text{ (лк)}$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично відповідатиме нормативному значенню.

На рисунку 4.2 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 4.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

Висновки та рекомендації

1. Алгоритм функціонування стабілізатора температури дозволяє оптимізувати схемне рішення вузлів пристрою і виконати його більш компактним та економічним по відношенню до існуючих аналогів.

2. Схема електрична принципова у встановленому режимі забезпечує точність підтримки температури 0,5°С с дискретністю індикації 1ºС, що достатньо при проведенні технологічного тренування блоків мікроелектронних пристроїв на виробництві.

3. Аналіз функціонування автоматичного пристрою підтримки заданої температури відповідає проведеним розрахункам та використаним методам розрахунку цифрових електронних схем.

Результати роботи можуть бути використані для подальшої модернізації цифрових стабілізаторів температури у тому числі і з застосуванням мікроконтролерів.

Перелік посилань

1. Температурні виміри : довідник / О. А. Геращенко, А. Н. Гордов, Б. І. Стаднік та ін. Київ: Наук. думка, 1984. 493 с.

2. Твердотільна електроніка : навч. посіб. / І. М. Бондаренко, О. В. Бородін, О. Б. Галат та ін. Харків : ХНУРЕ, 2020. 236 с.

3. Михайлін В. М. Технологічні основи електроніки : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 104 с.

4. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224 с.

5. Цифрова схемотехніка : підручник / Л. Л. Верьовкін, М. В. Світанько, Є. М. Кісельов та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.

6. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем : підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с

7. Лукащук Л. О. Схемотехніка логічних та послідовністних схем : навч. посіб. Львів : Видавництво Нац. університету «Львівська політехніка», 2004. 116 с.

8. Рябенький В. М., Жуйков В. Я., Гулий В. Д. Цифрова схемотехніка : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2009. 736 с.

9. Белуха М. Т. Основи наукових досліджень. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

10. Кожемякін Г. Б. Рижков В. Г., Бєлоконь К. В. Охорона праці та техногенна безпека : методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

11. Ткачук К. Н. Охорона праці та навколишнього середовища в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.

12. Горобець А. І. Степаненко А. І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.